

# ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ» по ФИЗИКЕ

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2014 года

### БИЛЕТ № 11 (7-9 классы): вопросы, задачи

#### и их возможные решения.

1. *Что такое масса тела, вес тела и сила тяжести, действующая на тело вблизи Земли? Как они связаны между собой?*

**Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать:** описание понятия «масса» как меры инертности и определение массы как физической величины (нужно понимать, что определение основных физических величин – это прежде всего указание способа их **измерения**), определение веса тела, физическое описание сил тяжести (природа этих сил, выражения для них) и объяснение связи силы тяжести и веса. Максимальная оценка за теоретический вопрос: 5 баллов.

**Задача:**

Вору и мошеннику Наземникусу удалось пробраться в сейф, полный золотых слитков и слитков из неизвестного сплава одинакового размера. С помощью волшебного заклинания Наземникус может незаметно выбраться из сейфа, прихватив с собой золота не больше своей массы. Если Наземникус попытается унести чуть больше, его немедленно схватят тролли, охраняющие сейф. Наземникус прихватил с собой тонкий прочный стержень длиной 1 метр и массой 0,3 кг с отверстием, находящемся на расстоянии 25 см от левого конца стержня и гирию массой 1 кг. Закрепив стержень через имеющееся отверстие, Наземникус соорудил импровизированные весы и узнал, что 1) золотой слиток, подвешенный в левому концу стержня перевешивает слиток из неизвестного сплава, подвешенный к правому концу; 2) слиток из неизвестного сплава вместе с гирей, подвешенные к правому концу, перевешивают золотой слиток, подвешенный к левому концу; 3) гирия, подвешенная к правому концу стержня, перевешивает слиток из неизвестного сплава, подвешенный к левому концу; 4) слиток из неизвестного сплава, подвешенный к правому концу, перевешивает гирию, подвешенную к левому концу. Больше измерений Наземникусу провести не удалось. Определите, какое максимальное количество золотых слитков может взять с собой Наземникус, чтобы наверняка не быть пойманным, если его масса 70 кг (он использует только на данные произведенных взвешиваний!).

**Решение:**

Условие равновесия "весов" Наземникуса:  $x_1 g l_1 = M g l_2 + x_2 g l_3 \Rightarrow x_1 = 0,3 + 3x_2$ , где  $x_1$  и  $x_2$  - масса тел, подвешенных к левому и правому концам стержня, соответственно;  $l_1 = 25$  см - расстояние от точки закрепления стержня до его левого конца,  $l_2 = 25$  см - расстояние от точки закрепления стержня до его центра,  $l_3 = 75$  см - расстояние от точки закрепления стержня до его правого конца,  $M$  - масса стержня.

Подставляем то, что получилось при взвешиваниях:

- 1)  $m_1 > 0,3 + 3m_2$  ( $m_1$  - масса золотого слитка,  $m_2$  - масса слитка из неизвестного сплава в килограммах).
- 2)  $m_1 < 3,3 + 3m_2$
- 3)  $m_2 < 3,3$
- 4)  $m_2 > 0,23$  ( $1 < 0,3 + 3m_2$ )

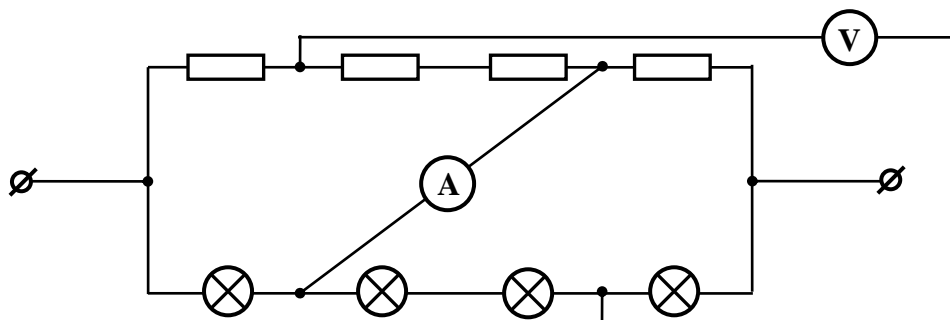
Максимально возможное при таких условиях значение  $m_1$  составляет 13,2 кг. Соответственно, безопасно вынести из хранилища Наземникус может 5 слитков (точно не больше 66 кг).

**ОТВЕТ: 5 слитков.** Максимальная оценка за задачу: 20 баллов.

2. *Напряжение и сила тока в электрической цепи. Закон Ома.*

**Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать:** определение напряжения и силы тока как физических величин, формулировку закона Ома и объяснение его физического содержания. Максимальная оценка за теоретический вопрос: 5 баллов.

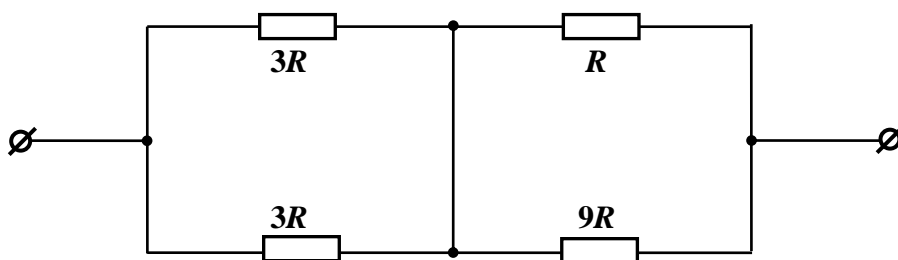
**Задача:**



На внешних клеммах цепи, схема которой показана на рисунке, поддерживается постоянное напряжение  $U = 48\text{ В}$ . Сопротивления всех резисторов в схеме одинаковы и равны  $R = 10\text{ Ом}$ , сопротивления всех ламп в схеме также можно считать одинаковыми и равными  $R_1 \approx 3R = 30\text{ Ом}$ . К цепи подключены амперметр и вольтметр, которые можно считать практически идеальными (то есть присутствие амперметра практически не влияет на силу тока в его участке цепи, а присутствие вольтметра практически не влияет на напряжение между точками, к которым он подключен), сопротивления соединительных проводов пренебрежимо малы. Найти показания приборов.

**Решение:**

Прежде всего нужно заметить, что сопротивления идеального амперметра равно нулю (соответствующий участок цепи можно замкнуть), а идеального вольтметра - бесконечно велико (участок можно разомкнуть), и для расчета токов и напряжений можно использовать схему



Полное сопротивление цепи  $R_n = \frac{3R \cdot 3R}{3R + 3R} + \frac{R \cdot 9R}{R + 9R} = 2,4R = 24\text{ Ом}$ , и полный ток в цепи

$I = \frac{5U}{12R} = 2\text{ А}$ . Этот ток делится поровну между сопротивлениями  $3R$  (по  $I_1 = \frac{5U}{24R} = 1\text{ А}$ ) и в

соотношении 1:9 между сопротивлениями  $9R$  и  $R$  ( $I_2 = \frac{U}{24R} = 0,2\text{ А}$  и  $I_3 = \frac{3U}{8R} = 1,8\text{ А}$  соответственно).

Из баланса токов в узлах «закороченной» ветви видно, что через амперметр течет ток («снизу вверх»)  $I_A = I_3 - I_1 = \frac{U}{6R} = 0,8\text{ А}$ .

Напряжение на вольтметре равно разности напряжений на трех лампах «слева» и одного резистора «слева»:  $U_V = I_1 3R + I_2 6R - I_1 R = \left( 3 \frac{5}{24} + 6 \frac{1}{24} - \frac{5}{24} \right) U = \frac{2}{3} U = 32\text{ В}$ .

**ОТВЕТ:**  $I_A = \frac{U}{6R} = 0,8 \text{ А}$ ,  $U_v = \frac{2}{3}U = 32 \text{ В}$ . Максимальная оценка за задачу: 20 баллов.

3. *Каким условиям должна удовлетворять лодка, чтобы ее можно было использовать для плавания по воде?*

**Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать:** формулировку условий плавания лодки (например, что условие на объем лодки ниже ватерлинии и условие на положение точек приложения сил Архимеда и веса лодки с грузом). Максимальная оценка за теоретический вопрос: 5 баллов.

**Задача:**

Наземникус решил спрятать один из вынесенных золотых слитков в глубоком цилиндрическом колодце, площадь поперечного сечения которого  $S = 0,5 \text{ м}^2$ . В колодце была вода и поддерживалась температура  $0^\circ\text{C}$ . Наземникус поместил слиток в кусок льда, причем лед со слитком плавал на поверхности воды в колодце, не касаясь стенок. Из-за небольшого повышения температуры лед все-таки растаял, и уровень воды в колодце понизился на  $\Delta h_1 \approx 9,48 \text{ мм}$  (вода из колодца не выливается и в колодец не поступает). После извлечения слитка из колодца уровень понизился еще на  $\Delta h_2 \approx 0,52 \text{ мм}$ . Найдите массу золотого слитка и определите его плотность (слитки содержат небольшое количество примесей, и их плотность может отличаться от «табличной» плотности чистого золота). Плотность воды в колодце  $\rho_0 = 1,00 \text{ г/см}^3$ , тепловым расширением всех материалов при небольшом нагревании пренебречь.

**Решение:**

Пусть  $V_0$  - начальный объем воды в колодце,  $m_0$  - начальная масса льда,  $m$  - масса золотого слитка. До того, как лед начал таять, объем под поверхностью воды был равен сумме  $V_0$  и объема вытесненной воды, который, согласно закону Архимеда, равен  $\frac{m_0 + m}{\rho_0}$ . Итак,

$V_1 = V_0 + \frac{m_0 + m}{\rho_0}$ . После таяния льда из него образуется вода объемом  $\frac{m_0}{\rho_0}$ , а слиток золота

объемом  $\frac{m}{\rho}$  ( $\rho$  - плотность слитка) тонет. Поэтому объем под поверхностью  $V_2 = V_0 + \frac{m_0}{\rho_0} + \frac{m}{\rho}$ ,

и понижение уровня воды в колодце  $\Delta h_1 = \frac{V_1 - V_2}{S} = \frac{m}{S} \left( \frac{1}{\rho_0} + \frac{1}{\rho} \right)$ . После извлечения слитка

объем под поверхностью уменьшится еще на объем слитка ( $V_3 = V_0 + \frac{m_0}{\rho_0}$ ), и

$\Delta h_2 = \frac{V_2 - V_3}{S} = \frac{m}{S\rho}$ . Из этих соотношений легко выразить:  $m = \rho_0 S (\Delta h_1 + \Delta h_2) \approx 5 \text{ кг}$ , и

$\rho = \frac{m}{S \Delta h_2} = \rho_0 \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{\Delta h_2} \approx 19,2 \text{ г/см}^3$ .

**ОТВЕТ:**  $m = \rho_0 S (\Delta h_1 + \Delta h_2) \approx 5 \text{ кг}$ ,  $\rho = \rho_0 \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{\Delta h_2} \approx 19,2 \text{ г/см}^3$  (как видно, на самом деле

Наземникус мог вынести 13 слитков – даже «подстраховавшись» от ошибок округления). Максимальная оценка за задачу: 20 баллов.

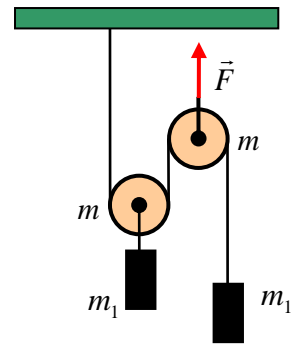
4. *Подвижный блок. Опишите соотношение сил и перемещений при использовании подвижного блока.*

**Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать:** описание конструкции простого механизма – подвижного блока, объяснение того, как распределены силы, действующие на элементы блока и связанные с ним тела, описание соотношения сил и перемещений с указанием

их связи с «золотым правилом» механики. Максимальная оценка за теоретический вопрос: 5 баллов.

**Задача:**

Из двух одинаковых цилиндрических роликов массы  $m$ , двух одинаковых грузов массы  $m_1 = 3m$  и легкой прочной нерастяжимой нити собрали механическую систему, показанную на рисунке. Один конец нити закреплен на «потолке», ролики не вращаются, нить скользит по роликам без трения. Найти величину силы  $\vec{F}$ , с которой нужно тянуть вверх ось правого ролика, чтобы левый груз в этой системе двигался с постоянной по величине скоростью? Каким при этом будет ускорение правого груза? Ускорение свободного падения считать известным.



**Решение:**

При постоянной скорости ускорение левого груза вместе с прикрепленным к нему роликом равно нулю. Следовательно, сумма приложенных к этой системе тел сил равна нулю – удвоенная сила натяжения нити уравнивает суммарный вес тел, и величина силы натяжения  $T = 2mg$  ( $g$  - ускорение свободного падения). Теперь из уравнения движения для правого груза

можно найти его ускорение:  $3ma = 3mg - T = mg \Rightarrow a = \frac{1}{3}g$  (оно направлено вниз). Поскольку

нить нерастяжима, сумма длин ее вертикальных участков должна оставаться неизменной, поэтому в любой момент времени сумма скоростей грузов (в проекции на вертикаль) должна равняться удвоенной скорости правого ролика, и, следовательно, сумма их ускорений равна

удвоенному ускорению этого ролика:  $0 + a = 2a' \Rightarrow a' = \frac{1}{2}a = \frac{1}{6}g$ . Остается записать уравнение движения для правого ролика  $ma' = 2T + mg - F$  и найти из него величину силы:

$$F = 4mg + mg - \frac{mg}{6} = \frac{29}{6}mg.$$

**ОТВЕТ:** величина силы  $F = \frac{29}{6}mg$ , ускорение правого груза  $a = \frac{1}{3}g$  направлено вниз.

Максимальная оценка за задачу: 20 баллов.